

Свет из пустоты: как квантовый вакуум порождает фотоны при помощи сверхмощных лазеров

Дата публикации: 21.06.2025

Физики из Оксфорда совместно с коллегами из Португалии впервые смоделировали, как из квантового вакуума может возникнуть свет — без использования традиционных источников излучения. Это достижение стало возможным благодаря трехмерному численному моделированию в реальном времени, в котором задействованы петаваттные лазерные импульсы и сложнейшие алгоритмы вычислительной физики. Несмотря на то, что квантовый вакуум внешне представляет собой абсолютную пустоту, на самом деле он наполнен виртуальными частицами — мимолетными электронно-позитронными парами, непрерывно возникающими и исчезающими. Теория предсказывала, что в условиях сверхсильного электромагнитного поля эти частицы могут вступать в взаимодействие и даже генерировать фотоны, однако до сих пор такие явления оставались за пределами экспериментальных возможностей.

Суть смоделированного явления заключается в эффекте вакуумного четырехволнового смешения: три лазерных луча, сходящиеся в одной точке, формируют настолько мощное поле, что оно возбуждает виртуальные частицы в вакууме, провоцируя взаимодействие между фотонами. В результате появляется четвёртый луч — новый квант света с уникальными характеристиками, возникающий без участия обычной материи. При этом сохраняются как энергия, так и **импульс**, что подтверждает физическую состоятельность наблюдаемого процесса. Ранее фотон-фотонное рассеяние считалось теоретическим предсказанием квантовой электродинамики, но теперь у ученых появились реальные инструменты для его проверки.

В разработке использовалась усовершенствованная версия вычислительного комплекса OSIRIS, способная с высокой точностью моделировать электромагнитные взаимодействия и процессы на квантовом уровне. Моделирование не только подтверждает возможность генерации света из вакуума, но и раскрывает детали, необходимые для подготовки реальных экспериментов: форму пучков, синхронизацию импульсов, геометрию фокусировки, временные масштабы взаимодействий. Кроме того, выявлено, что малейшие асимметрии в конфигурации лазеров могут существенно повлиять на результат, что особенно важно при проектировании установок.

Среди ключевых результатов: имитация рождения фотонов из вакуума, подтверждение фотон-фотонного рассеяния, определение ключевых параметров

взаимодействий, анализ асимметрий пучков, создание цифрового инструмента для поиска аксионов и других частиц, моделирование реального сценария для сверхмощных лазеров.

Новая технология уже используется при подготовке экспериментов в ряде стран. Великобритания строит установку Vulcan 20-20, в Европе развивается инфраструктура ELI, в Китае функционируют проекты SEL и SHINE, а в США эксперимент OPAL в Рочестере включил фотон-фотонное рассеяние в число приоритетных направлений. Именно такие проекты в состоянии подтвердить или опровергнуть существование квантовых эффектов, ранее считавшихся чистой теорией.

Новое поколение численного моделирования, объединённое с развитием лазерных технологий, делает возможным переход от теоретических рассуждений к проверке фундаментальных постулатов квантовой электродинамики. Речь идёт не только о расширении понимания природы света и вакуума, но и о возможной проверке гипотетических кандидатов на роль тёмной материи — аксионов, скрытых фотонов, миллизаряженных частиц. Применение таких моделей открывает окно в новую эру фундаментальных экспериментов, в которой «ничто» уже не означает пустоту.

Ссылка: «Вычислительное моделирование полуклассического квантового вакуума в 3D» DOI: [10.1038/s42005-025-02128-8](https://doi.org/10.1038/s42005-025-02128-8).